

模型船用航跡自画装置について

小川陽弘*・松元尚義*・森 政彦*

On the Automatic Course Plotter for the Free-running Model Ship

By

Akihiro Ogawa, Naoyoshi Matsumoto and Masahiko Mori

The paper describes the new facility which is used to trace the free running model ship at Mitaka No. 1 Ship Experiment Basin, Ship Research Institute.

The position of the model in the basin is measured by counting the travelling time of supersonic signals in water, which is transmitted at the bottom of the model at every one second and is received at two separate points on the shore. The two values of the distances are put into a mini-computer (4kW) and are converted into XY-coordinates. Then the position and the trajectory of the model is plotted on a digital XY-plotter and punched out on the paper tape on line.

In order to obtain the position of rudder execute, beginning point of measurement and so on, some external signals can be taken in with the accuracy of 0.01 second. These points are plotted on the XY-plotter and punched out on the paper tape immediately after the "on line" plotting and punching out of the position of the model.

After the above processes are finished, the mean speed and the course angle of the model can be calculated between two appointed times, which are decided and typed in by the operator referring the just plotted trajectory. Turning characteristics such as advance, transfer, turning diameter and so on can be calculated later using the punched paper tape on a computer FACOM 270-20 at Ship Research Institute.

The measurement can be continued for about 220 or 330 seconds, the difference of which depending on the included "on line" programs.

1. 緒 言

運動性能部では三鷹第一船舶試験水槽において自航模型船を用いた実験を行なうことが非常に多い。これは無線操縦によるいわゆる完全自航模型船であるために、時々刻々の船の位置を知ることは極めて重要であり、種々の方法が考えられている。本水槽で数年前から採用しているものは、比較的簡単で精度の高い、水中の超音波を利用して計測する方法の一つで、一定の時間間隔毎に模型船から超音波のパルスを送波し、これを水槽壁の2点で受けて、それぞれの伝達時間か

ら距離を求め、その時刻の船の位置を知る方法である。

当初はこの距離をプリンターに数値で記録するだけであったが、その後サーボモータで2本のアームを作動させ、極座標として自動的にプロットする装置を作った。これもある期間実用されていたが、機械的な振動が大きくて具合の悪いことが多かった。

最近、ミニコンとXYプロッタを利用して、距離信号から船の航跡をオンラインで自画させる装置を製作したところ、非常に好結果が得られたので、過去に研究・改良されて来た超音波部と共にここに報告する。

* 運動性能部 (原稿受付: 昭和46年11月10日)

2. 装置の構成

2.1 概要

この装置は大別して船位測定部と航跡自画部の2つの部分から構成されている。

船位測定部は水中超音波を利用して水槽中の模型船の位置を求めるもので、基準となる時間信号は航跡自画部と共通で、誘導無線により陸上から模型船に送信される。その概略の仕様を Table 1 に示す。

航跡自画部は上で求めた船位を各種の処理をしたのち、XYプロッタに順次プロットすると共に、それらのデータを紙テープにも打ち出すもので、そのシステム構成を Table 2 に示す。

全体の配置および構成は Fig. 1 のようになっており、CPU、アンプ等は1個のラックに収納され、Fig. 2 に示すように計測室内に配置されている。以下主として Fig. 1 をもとに説明する。

2.2 船位の測定

2.2.1 測定の方法

模型船の水槽中の位置は1秒毎に計測される。この時間は超音波の水槽壁からの反射、CPU 以下航跡自画部のオンライン処理能力等を考慮して決められたものである。

基準となる1秒毎の信号はカウンタB (Fig. 1) で発生する1Hz から作られる1秒毎のパルスである。

Table 1 船位測定部仕様

方式	超音波パルス送受信方式
超音波周波数 " 出力	約 84 kHz 約 400 W
誘導無線周波数 " 出力	約 250 kHz 約 1 kW
船位測定時間間隔 基準時間信号	1.000 sec 外部入力

Table 2 航跡自画部仕様

中央処理装置	FACOM-R (4kW)
XYプロッタ プロット速度 プロット幅	DPL-602 400 step/sec 0.1 mm/step
タイプライタ 印字速度 せん孔速度 紙テープ出力コード	FACOM 805 A 20字/sec 20字/sec FACOM WRITER CODE (特別仕様)
紙テープ読取装置 読取速度	FACOM 752 A 200字/sec

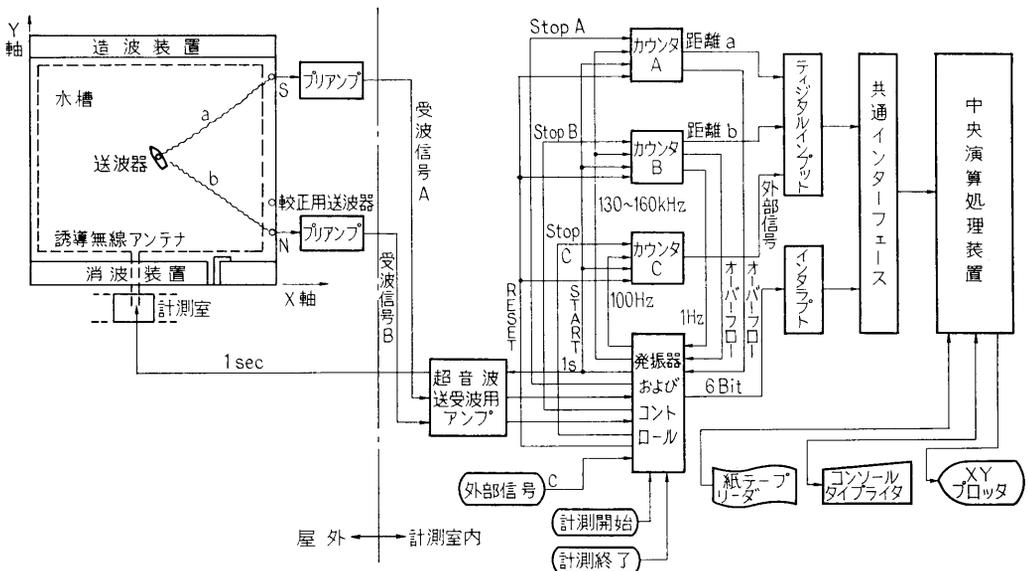


Fig. 1 装置の構成および配置

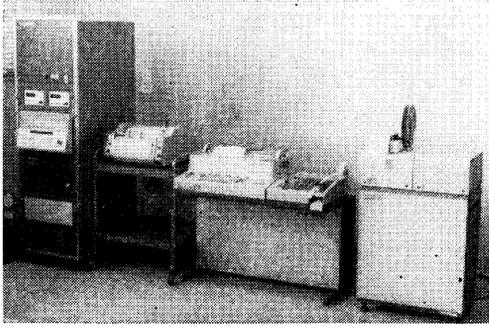


Fig. 2 装置の全景

これは超音波送受波用アンプを通じて誘導無線により模型船に送られ、模型船から超音波を送り出すためのトリガーとなる。この超音波は水槽西側の壁に 50m の間隔で設置されている 2 組の受波器 (Fig. 1 の N, S) で受けられ、アンプを通じて制御回路に送られる。一方同じ時間信号はカウンタ A, B に送られカウントスタート信号となっており、受波された超音波パルスストップ信号とすることによって超音波の到達時間を次のように測り、これから距離 a, b が求められる。

超音波の水中での伝播速度は純水で水温 15°C において $1,433\text{ m/s}$ である。この超音波の到達時間を計測する一方法として、ある周波数をその時間だけカウントすれば、その数値が時間に変換されることになる。本装置では 1 サイクルが 1 cm の距離に相当するようにすれば都合が良いので 143.3 kHz を用いることにした。ただし音の伝播速度は水温によって変化するので、これを校正するためにこの周波数は約 $130\sim 160\text{ kHz}$ の間で可変になっている。校正のためには 2 組の受波器間の N 側から 10.20 m 、S 側から 39.80 m の位置に設けられた校正用送波器を用い、直接カウンターの標示数値を合わせるようにしている。

2.2.2 誘導無線の送受信

誘導無線の送信は Fig. 3 に示すような回路で行なわれる。R を通じて C にチャージされた電圧 E が SCR のゲートに信号が入る毎に水槽内にループ状に張られ

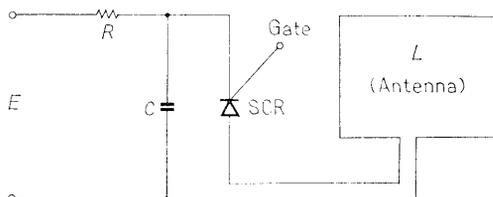


Fig. 3 誘導無線の発信回路

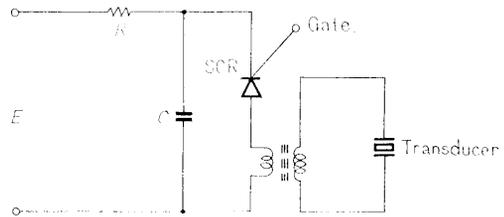


Fig. 4 超音波の送波回路

たアンテナを通じて放電され、アンテナのインダクタンス L と容量 C でほぼ定まる周波数の電波を発信する。時間信号としてはこの電波の立上りの所を使用するわけであるから、周波数そのものやこれが減衰振動であることなどは余り問題にならない。

この誘導無線は模型船の船首部に取付けられたループアンテナで受信される。誘導無線の電界強度を水槽内の全位置で一樣に保つことは困難で、その対策として受信機の SN 比は相当良くする必要があった。

2.2.3 超音波の送波

模型船からの超音波の送波には Fig. 4 の回路が用いられている。これは Fig. 3 と同様の原理で急激に放電された電流によりトランスの 1 次側のインダクタンスと C とでほぼ定まる周波数の高圧を 2 次側に発生させ、これをトランスジェネレーターに加えて超音波を送波させるようにしたものである。

トランスジェネレーターは Fig. 5 に示す形状で、材料としては従来チタン酸バリウム (通称チタバリ) が用いられていたが、現在はジルコン酸鉛 (ジルナマ) が用いられており、後者の方が感度が数倍高い。電極は円筒の内面および外面に一面に銀を焼付けてフィルム状に密着させたものである。このトランスジェネレーター

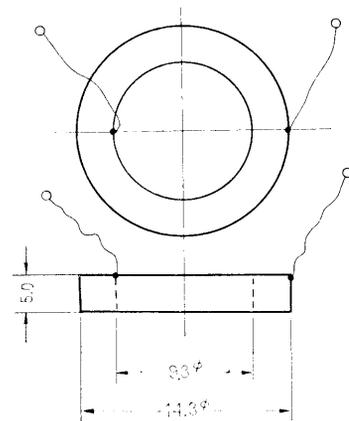


Fig. 5 超音波トランスジェネレーター

はシリコンオイルで満たしたゴム製の円筒に収められ、模型船の船体中心あるいは重心直下の船底に、超音波が水平方向に一樣に送波されるように取付けられる。

2.2.4 超音波の伝播状況

経験によれば、超音波の水中での伝播の状態は季節によって大きく変化し、特に4～5月頃の水温の変化の激しい時期には伝播中の減衰が非常に大きい。これは送波器および受波器の指向性や相互の位置関係に、水温の深度方向の分布の影響による超音波の屈折あるいは反射などによる干渉その他の原因が複雑に組合わさって起る現象と考えられる。具体的な解決策としては、受波器の没水深度を増せば感度が上昇することが確められた。同じことは送波器側についても言えるが、実際上送波器は模型船の船底に付いているので、これを深く水中に入れることは好ましくないため、受波器の方のみ次に述べるように深くしている。

2.2.5 超音波の受波

超音波の受波用トランスジューサーは送波用のものと同一である。これを Fig. 6 に示すように水深方向に2個を1組として水槽壁に取付けてある。深い方は前述のように感度を上昇させるためであり、浅い方は近距離で超音波の伝達経路が水平に対して大きな角度を持つようになって誤差が増大するのを防ぐ目的で設

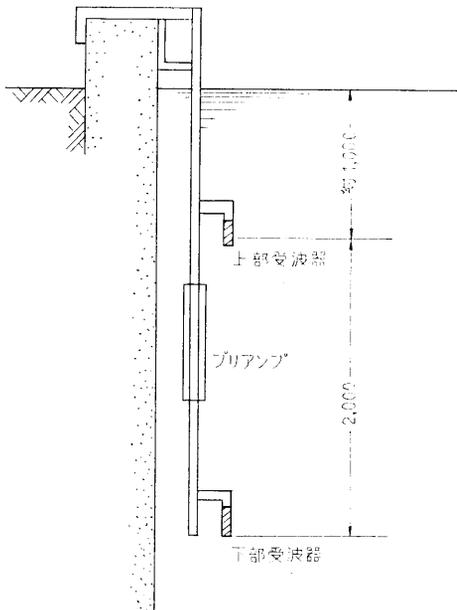


Fig. 6 受波器の設置要領

けられたものである。トランスジューサーの支柱の中には約 40 db のプリアンプが2個組込まれており、ここで増幅された信号が計測室内の主増幅器に送られる。上下2個の受波器には実際上わずかの時間差を持って超音波が入るわけであるが、カウンターのストップパルスとしては信号の立上りを利用しているので、通常は先に入って来る上方の信号が優先する。感度の関係で下方の信号が採用されるような時には航跡に多少の不連続性が出来るが現状では止むを得ないし、また実用上差支えない程度である。

2.2.6 外部信号

実験中に操舵点などの合図マークを入れるために外部信号入力端子が設けてある。ここからの信号は制御回路を経てカウンタCのストップパルスとなり、100 Hz のサイクル数を数えることによって、共通の1秒毎のスタート時刻からのずれ時間が0.01秒の精度で計測される。1秒の間に外部信号入力が必要ならばカウンタはリセットされてまた次のカウントに移る。

2.3 演算および作図

2.3.1 プログラムの概要

試験開始から終了までの演算等の処理プログラムの概要を Fig. 7 のフローチャートに示す。直進試験、旋回試験の別は後述のように、平均速度の演算プログラムを含むか、これを含まずに計測時間を長くとするかの相違だけであって、直進試験のプログラムで旋回試験を行なっても全く差支えない。

2.3.2 座標の変換

陸上の2点から模型船までの距離は、単純な幾何学的演算により Fig. 1 に示すXY座標に変換される。距離の測定値は cm 単位の整数型で得られており、演算も整数型で cm 単位の4桁表示となる。

2.3.3 プロット

水槽のXY座標はXYプロッタのXY軸に対応させてある。プロッタのY軸の有効記録幅が270 mmなので、水槽のY軸の有効幅(80 m から造波機、消波機の長さを差引いたもの)約66 m に対して縮率は約1/250となる。これが標準の縮率として用いられる。これらの理由から、水槽の座標原点は厳密にはN, S 両受波器が(80, 11), (80, 61) (単位 m) になる位置に定めてある。これは水槽北東隅から約4.70 m だけY方向にずれた位置にある。

航跡は1秒毎に算出される船位座標(X, Y)を直線で結ぶことによって得られる。船位の計測にエラーがあってX, Yの少なくともどちらか一方の値が不明

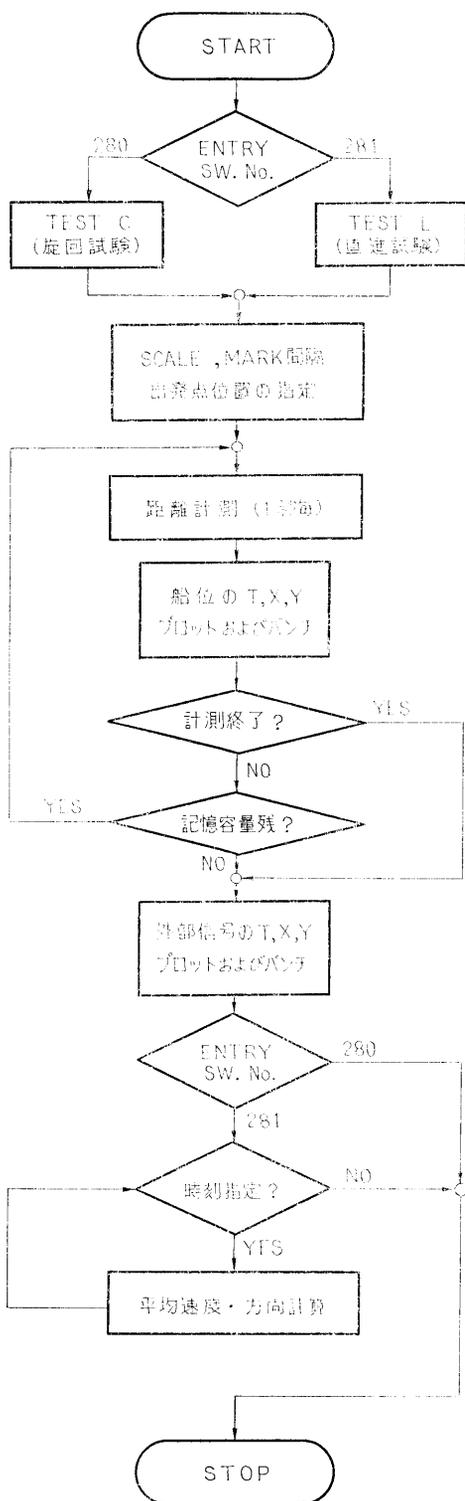


Fig. 7 演算処理の概要

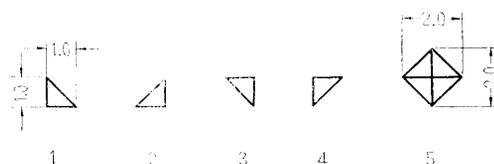


Fig. 8 マークの種類

または不適当な場合は航跡はこのエラーのあった点をとばして直線で結ばれる。

任意の時刻の船位の判別を容易にするために Fig. 8 に示す 5 種類のマークを用いる。Fig. 8 の 1~4 は直角二等辺三角形で、直角の頂点はその時刻の位置を表わす。マークは指定秒数毎につけられ、4 個のマークは指定個数毎に図の順序で次々に変わり、旋回試験などで航跡が重なるような時の判別の助けとなる。5 番目のマークは外部信号用で、1~4 が on-line で航跡と同時に描かれるのに対して、これは演算時間の都合で航跡の作図終了後に描かれる。このマークは中心が外部信号入力時の船位を示し、1 実験中に 5 個まで入れることができる。

2.3.4 紙テープ出力

船位はプロットと同時に紙テープにパンチアウトされる。その内容は次の順序である。

(1) 時刻 T (秒)、座標 X, Y (cm) を各々整数 4 桁で表わして 1 データとしたもの。前項のマーク指定に関係なく 1 秒毎に出力する。ただしエラーがあった場合は時刻のみ数えてパンチはしない。

(2) (1)の終りを示す $T=0, X=9999, Y=9999$ 。

(3) 外部信号受信時刻 T (0.01 秒単位の整数 6 桁)、 X, Y (cm 単位整数 4 桁) を 1 組とするデータ。

(4) (3)の終りを示す $T=0, X=9999, Y=9999$ なお、計測開始信号 (Fig. 1 参照) 入力後最初に距離信号が入力された時刻を $T=0$ とする。

2.3.5 速度の計算

以上の処理が終わると TEST C (旋回試験プログラム) のモードでは試験終了状態になる。TEST L (直進試験プログラム) の場合は、上の処理に続いてタイプライタから任意の 2 つの時刻を打ち込んでやることによって、この 2 時刻間の平均速度および進行方向が計算され、タイプアウトされる。速度は mm/sec で、進行方向は造波機による波の進行方向 (Y 軸の負の方向) を 0° とし時計回りに度の単位で表わされる。

2.3.6 旋回径等の計算

本装置の機能とは直接関係ないが、パンチアウトさ

れた紙テープを入力として、船研共用電子計算機 FACOM 270-20 を用いて旋回関係の計算を行なうプログラムが別に用意されている。計算されるものは指定区間の速度および方向、アドバンス、トランスファ、タクチカルダイア、旋回の線速度、角速度、旋回に要した時間、旋回半径である。なお、この際風による平均的漂流の影響を修正する計算を行なっているため、その漂流の方向および漂流平均速度も出力される。

2.4 操作法

本項は本装置の内容の理解を助けるために設けたもので必ずしも操作法のすべてを詳述するものではない。

2.4.1 プログラムの読み込み

プログラムとしては

- (1) オンライン試験用
- (2) オフライン作図用
- (3) FORTRAN コンパイラ用

の3種が紙テープで用意されている。本装置の演算処理にはもちろん(1)を用いるので以下これについて述べる。

プログラム(1)には旋回試験用 (TEST C)、直進試験用 (TEST L) の2種が含まれており、この区別は CPU のエントリースイッチにより行なう (Fig. 7 参照)。プログラムのローディングは、指定の順序に電源を投入した後、PTR にセットしたプログラムを読み込ませれば良いが、別のプログラムをロードしない限り、一度電源を切っても生きているので、試験の度に毎日ロードし直す必要はない。

2.4.2 較正

電源投入後 30 分程度の Heat run の後、超音波の伝達距離のキャリブレーションを行なう。これは前述のようにカウントする周波数を変えて、カウンター A、B の数値がそれぞれ較正用送波器からの距離 (cm) を示す 1020 および 3980 になるようにすれば良い。これはコントロールパネル上の f-Adj つまみを回すことによって簡単にできる。

2.4.3 実験の開始

実験の開始に先立ってエントリースイッチを 0280 か 0281 にセットして TEST C か TEST L かを選択する。CPU のロータリー SW は IC1 にしておく。以下次の操作を行なう。

- (1) CPU のボタンを CLEAR—STORE—RUN の順に押す。
- (2) タイプライタに次のように次々に印字される

(34)

ので、点線のアンダーライン部をキーボードからタイプインする。

TEST C (または TEST L)

SCALE=1/200 復改

N=2, 20 復改

START=60, 5 復改

READY? 復改 または N 復改

SCALE は縮率を表わし、何も指定しなければ (復改のみ行なう、以下同様) 1/250 になる。

N は船位のマークをつける時間間隔とマークを変える個数を示すもので、上例では 2 秒毎にマークをつけ、20 個目毎に順次マークの向きを変えることを示す。何も指定しなければ 1, 20 と同じになる。

START は出発点 (計測を開始する位置のおおよその座標) で、指定しなければ 66, 1 と同じになる。READY? 復改によって XY プロッタのペンはこの START 位置へ移動し、出力紙テープが 100 桁フィードされるが、ペンの位置は移動前に停止していた所が (0, 0) となるので、この 2 つの点の座標をうまく組合せることによって縮率の大きい場合にもスケールアウトしないように画かせることが出来る。

- (3) 以上の数値を間違えて入力した場合など、もう一度やり直したい時は READY? N 復改によって、(2) の最初から打ち直すことになる。
- (4) パネル上の START ボタンを押すことにより船位の計測が開始される。

2.4.4 実験中の操作

計測・記録はすべて自動的に行なわれるので、特別な操作は必要としない。外部信号は他の機器からオンラインで入れることも出来るが、現在は押しボタンで手で入れるようになっているので、操舵開始、記録開始、終了等の合図でボタンを押せば良い。外部信号は 5 個まで記憶され、6 個目以上は無視される。

2.4.5 実験の終了

パネル上の STOP ボタン (START ボタンと同一) を押すことより距離の計測は終了する。計測可能時間は TEST C で約 220 秒、TEST L で約 330 秒であり、これを超過すると自動的に計測終了の状態になるが、この場合でもカウンターは作動しているので STOP ボタンを押しておく必要がある。

実験終了でプロッタは外部信号受信位置をプロットし、(75, 0) にもどって停止する。タイプライタのバ

ンチャーは同信号の時刻と座標をパンチアウトした後100桁のフィードを行なって停止する。

2.4.6 速度の計算

以上の処理が終ると TEST L の場合はタイプライタに次のように打ち出される。

INTVL=5, 10 復改

ここで今プロットされた航跡を参照して点線のアンダーライン部のようにタイプラインすることによって、その時刻間の平均速度と進行方向が計算され、上に続いて次のように打出される。

V=1030 D=0135

INTVL=

この INTVL= のあとに別の区間を指定すれば、何回でも任意の区間の速度と方向が計算される。INTVL= のあとに単に復改すれば全処理は終了する。

2.4.7 エラーの表示

計測・記録中の各種のエラーは Table 3 のように表わされる。今までの約半年間の実績では ER 02 の出る場合が最も多く、それに伴って ER 05 が出ることもあり、時に ER 04, ER 09 が出ている。しかしいずれもその頻度は極めて低く、実用上障害になることはほとんどない。

3. 計 測 例

Fig. 9 に計測・記録の一例として、高速船の舵角左

20° の旋回試験の記録を示す。図中タイプ印字されている部分は 2.4.3 項以下の操作を行なったもので、船位計測エラーが 1 回出ているが、これは図の上部やや左寄りの丁度 160 秒目のマークがつけられるはずの点で、図では 159 秒目と 161 秒目の間が直線で結ばれていることがわかる。以下 4 回各 2 秒間の速度を計算しているが、操舵開始直前が最も大きい速度になっており、アプローチでまだ加速中であったことがわかる。

4. 結 言

この装置は主として模型船の航跡を自画する目的で、従来改良を加えて来た超音波装置に、新しくミニコンによるデータ処理装置を加えて作製したものであるが、計画に当っては誰でも容易に使用できること、スイッチ操作等は必要最少限とすることを重要目標とした。その結果全くのしろうとでも10分もあればプログラムのローディングから計測、速度計算等の処理までマスターし得る装置を作ることが出来、実験の精度および能率の向上に極めて大きく貢献している。

またオフラインの XYプロッター、あるいは FACOM-R 単体のミニコンとしても利用できることはもちろんで、これにも大いに利用されている。

以上のような機能でほぼ満足できるものであるが、さらにコアが増設できれば、オンラインで旋回径等の計算も出来てさらに完全なものになると思われるの

Table 3 エ ラ ー 表

エラ番号	内 容	メ ッ セ ー ジ	処 理
01	連続 5 回位置信号ミス	即時打出し	データ収集中止。次の外部信号処理に移る。
02	船位信号不正確	即時	その時刻の値をとばして作図。マークはつけない。
03	外部信号数超過	作図後	6 個目以上は無視される。
04	船位信号数超過	即時	データ収集中止。次の外部信号処理に移る。
05	外部信号位置不正確	外部信号マーク作図時	直前あるいは直後の船位不正確のためその前後の値で計算。
06	時刻指定不良または指定時刻の船位不明	即時 (速度計算時)	直ちに INTVL= にもどる。
07	プロッターエラー	即時	
08	タイプライタエラー	即時	
09	外部信号受信位置不確定	外部信号マーク作図時	外部信号の前または後の船位が入力される前に試験終了になった時。この信号は無視される。

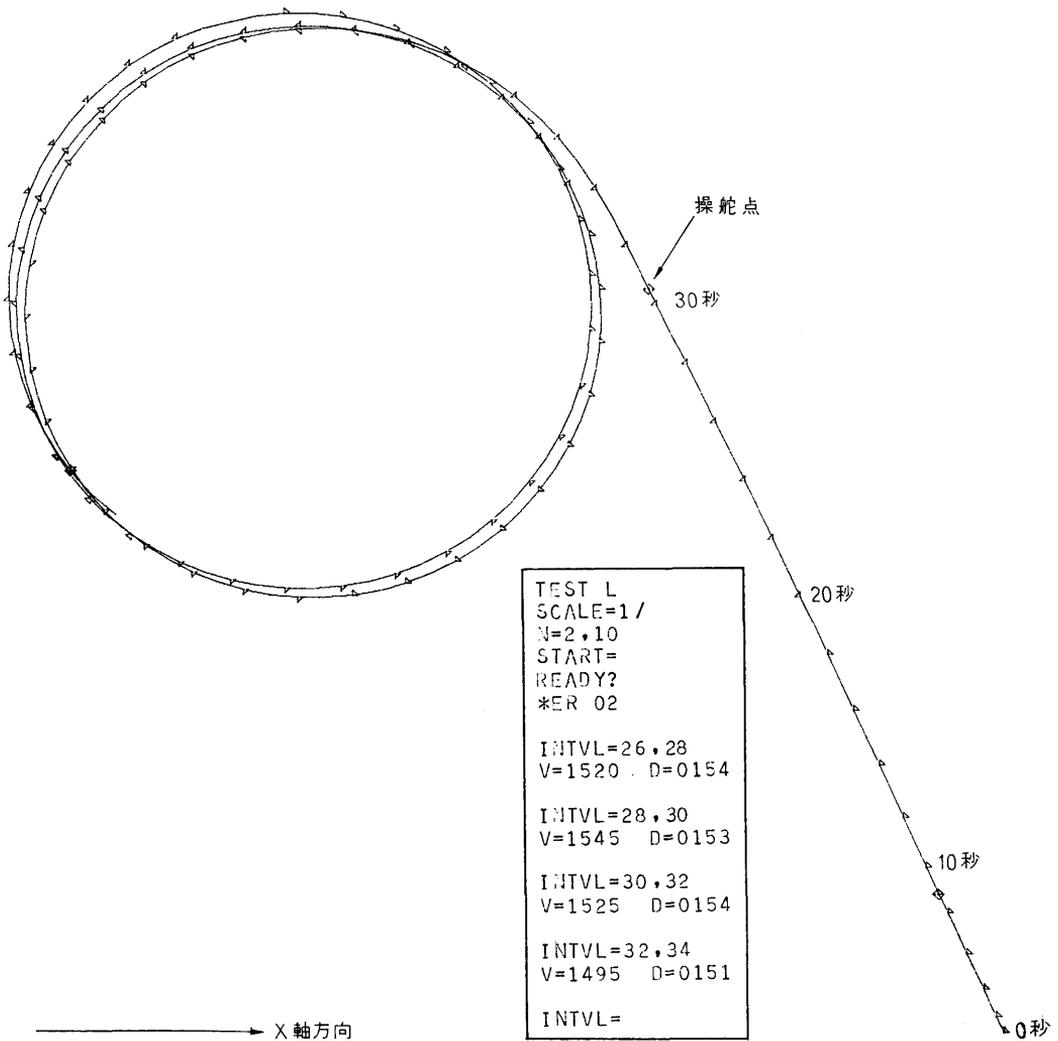


Fig. 9 旋回試験の記録例

で、今後できるだけ早期に増設したいと考えている。
 なお、本装置全体は岩崎通信機製 DATAC 7000 を

主体として構成されたものであることを付記する。